

## **Análise de indicadores de desconforto hídrico durante ciclos de stress num olival intensivo no Alentejo**

I. Ferreira, N. Conceição, C.A. Pacheco & M. Häusler

Dept de Ciências e Engenharia dos Biosistemas DCEB/ CEER, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, isabelferreira@isa.utl.pt

### **Resumo**

A escolha de uma variável que permita quantificar directa ou indirectamente o estado hídrico das plantas, bem como a identificação de limiares, a partir dos quais há um agravamento pertinente dos efeitos do stress ou desconforto hídrico, é um tema clássico na engenharia da rega. Apesar do conhecimento acumulado, está longe de poder ser considerado inteiramente resolvido, especialmente em lenhosas com raízes profundas. Em relação a espécies tradicionalmente não regadas, mas que o passaram a ser em muitas explorações comerciais, esta tarefa constitui um desafio acrescido. As experiências descritas foram conduzidas num olival intensivo regado, em Ferreira do Alentejo, desde 2011. Submeteram-se as árvores de duas sub-parcelas a tratamentos em que numa das parcelas se regou com dotações para o conforto hídrico e noutra se omitiu totalmente a rega durante algumas semanas (ciclo de stress). Durante estes períodos, mediram-se indicadores do estado hídrico, quer automatizáveis (e.g. variação de diâmetro do tronco), quer não automatizáveis (e.g. potencial foliar de base) bem como outras variáveis de valor interpretativo (e.g transpiração, variáveis climáticas). Da análise conjunta desta informação, extraem-se conclusões que se confrontam com a literatura, sobre a adequação do sinal recebido e o respectivo significado para a programação da rega.

**Palavras-chave:** *Olea europaea*, stress hídrico, fluxo de seiva, dendrometria, potencial foliar.

### **Abstract**

#### **Water stress indicators during one stress cycle in an intensive olive orchard.**

The identification of a reliable and practical water stress indicator and the corresponding threshold value, for irrigation scheduling, is a classical concern in water management in agriculture. This is not well solved for woody crops, especially those not traditionally irrigated, usually with large roots systems. Aiming to contribute to these studies, we measured water fluxes and some water stress indicators in an olive grove in south Portugal, during successive stress cycles. We report the first preliminary results during a stress cycle in August-September 2011, using sap flow, leaf water potential at predawn, stem diameter variations and soil water content, from which some indicators were derived. From the preliminary information obtained we could not identify a threshold value but very good relationships were found, between the selected automated and not automated variables, useful for farmers and engineering applications. These first encouraging results need confirmation and further analysis.

**Keywords:** *Olea europaea*, irrigation, sap flow, stem diameter, water potential.

## Introdução

Embora, quer em Portugal quer no Mundo, os olivais não sejam tradicionalmente regados, o recurso à rega é hoje prática corrente nos olivais intensivos e super-intensivos, para aumentar a produtividade e reduzir a alternância inter-anual. Pelo facto de a prática da rega em olival não ter uma longa história, mais pertinentes se tornam os estudos em que se relacionam os efeitos da rega com o impacto na produção e qualidade dos produtos finais ou se identificam ferramentas para melhor gerir a rega.

O objetivo deste trabalho é o de medir e analisar a resposta das oliveiras ao stress hídrico, pela comparação entre as variações de indicadores do estado hídrico das plantas. Usando medições não automatizáveis como referência para caracterização do estado hídrico, pretende-se observar o desempenho das medições automatizadas. O objetivo prático é obter indicação de que variáveis recomendar e que limiar usar para um certo objetivo. Como em qualquer cultura, a transposição dos resultados entre zonas geográficas está condicionada ao uso de indicadores relativamente independentes das condições meteorológicas e parâmetros locais. Desta forma, para as medições automatizadas, que neste caso são as que mais dependem das condições meteorológicas ao longo do dia, usa-se um valor relativo. Para obter a informação pretendida, escolhemos uma abordagem já seguida em vários estudos anteriores desta equipa (referências e.g. Ferreira et al., 2001, 2012), que consiste em usar ciclos de stress durante períodos limitados. Descrevemos os resultados obtidos num ciclo de stress realizado no verão de 2011.

## Material e Métodos

O trabalho experimental é referente a um ciclo de stress imposto, entre agosto e setembro de 2011, num olival comercial (*Olea europaea* L. var. Arbequina), intensivo, a 6 km de Ferreira do Alentejo, Portugal (coordenadas: latitude, 38° 1,34'N; longitude, 8° 10,84' O, altitude, 97 m, Datum WGS84). O clima é temperado, de tipo mediterrânico, com verão muito quente e seco e inverno temperado e húmido (Csa).

As árvores foram plantadas em 2004 (compasso de 7 m × 4,8 m). Outros parâmetros do coberto, no local das experiências, estão descritos no quadro 1; a rega é localizada, sendo a distância entre gotejadores de 0,75 m e o caudal nominal de 1,6 L/h. O solo é um *Arenic Luvisol ferric* (FAO/UNESCO, 2006). Apresenta um teor de água (em volume) de cerca de 38% e 18% respetivamente de capacidade de campo (CC) e coeficiente de emurchecimento permanente (CE), nas camadas superiores do perfil.

A evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*) foi calculada com base em variáveis climáticas usando a equação de Penman-Monteith com os parâmetros da cultura de referência (relva com 0,12 m de altura, resistência de superfície de 70 s m<sup>-1</sup> e albedo 0,23, como em Allen et al., 1998). Os dados meteorológicos são da estação meteorológica da Herdade do Outeiro (latitude: 38° 02' 4'' N; longitude: 08° 15' 5'' O, altitude: 74 m, Datum 73) do COTR ([www.cotr.pt](http://www.cotr.pt)).

Duas sub-parcelas de 941 m<sup>2</sup> cada englobando 28 árvores (4 linhas de plantação e 7 árvores em cada linha de plantação) foram submetidas a tratamentos diferentes do ponto de vista hídrico:

a) T1 ou controlo, em que as árvores foram regadas com frequência e dotações correspondentes às suas necessidades hídricas para a máxima transpiração sendo o estado hídrico avaliado pelo potencial hídrico foliar medido de madrugada (potencial

de base, PLWP) cujo valor esteve sempre acima de um determinado nível (vide resultados).

b) T2 ou tratamento de stress, em que as árvores não receberam qualquer rega, durante 6 semanas, do dia 215 (3 de agosto) ao dia 258 (15 de setembro), período que designamos por ciclo de stress (fig. 1).

Nas sub-parcelas a rega foi feita por um sistema de rega localizada independente do da exploração agrícola, dimensionado e montado para o efeito. Para regar cada linha de árvores usaram-se 3 rampas com gotejadores autocompensantes espaçados de 0,5 m e com caudal nominal de 1,6 L/h. Obteve-se assim uma faixa de solo humedecida pela rega com uma largura superior a 2 m.

Para caracterizar o estado hídrico das plantas utilizaram-se os indicadores: (1) transpiração relativa, (2) indicadores baseados na variação de diâmetro do tronco (VDiamT), (3) PLWP e potencial do raminho medido ao meio-dia solar, selecionando-se para apresentação o primeiro destes indicadores, e (4) teor de água no solo ( $\theta_s$ ).

Os valores de transpiração relativa (TR) aqui usados foram obtidos pela relação entre o fluxo de seiva médio ( $n=6$ ) observado nas árvores da sub-parcela sujeita a um ciclo de stress (T2) e o correspondente valor na parcela em conforto (T1), medido com o método de *Granier* (Granier, 1987). Os sensores de fluxo de seiva foram instalados no tronco de seis árvores de aparência média, em cada sub-parcela. Estas árvores estavam numa posição central das duas linhas centrais das sub-parcelas e também serviram de amostra para as medições não automatizáveis, nas folhas. Os sensores de fluxo de seiva (UP GmbH, Alemanha) de 2 cm de comprimento e 2 mm de diâmetro, foram instalados a uma altura variável no tronco, com uma distância entre os dois termopares de 10 cm. Considerou-se uma correcção para o perfil térmico natural (gradiente natural) considerando o valor registado numa das plantas em contínuo (sem aquecimento da sonda) combinado com o valor de gradiente térmico vertical observado por meio de um termopar adicional imediatamente abaixo da zona de medição, nas plantas onde se fez medição do fluxo de seiva.

O valor obtido foi normalizado, dividindo pelo valor da relação entre sub-parcelas quando em igualdade de condições, de forma a obstar às limitações decorrentes da amostragem limitada ou de diferenças sistemáticas entre zonas observadas. Os resultados de transpiração não foram corrigidos localmente pela relação com um método de referência (a partir de medições de evapotranspiração e evaporação do solo, de 2010 a 2012) segundo a metodologia descrita em Ferreira et al. (2004, 2008). Não se esperando que a equação de correcção seja linear, os valores de RT podem sofrer ajustamento, sendo nesta fase considerados provisórios.

A medição da VDiamT foi registada em 6 plantas por parcela com sensores LVDT (*linear variable displacement transducers*) modelo DF 2,5 g, do fabricante Solartron Metrology (Bognor Regis, UK), e suportes construídos numa empresa local (FACER, máquinas para indústria, Lda, Óbidos, Portugal) com base nos protótipos apresentados por Silva (2009). Não obstante as muitas propostas na literatura, de indicadores calculados com base nas medições da VDiamT, não há consenso sobre o mais indicado. Há indicações de que a amplitude diária relativa, simples ou modificada (como em Silva, 2009) usada com sucesso em muitas espécies, não funciona tão bem na oliveira (Fernandez, et al. 2011). Apresentamos o que calculamos como a diferença entre o diâmetro máximo das árvores ( $D_{MXTD}$ ) nas duas parcelas (com normalização usando a relação do dia 1 do ciclo), dividido pelo valor fictício do diâmetro máximo na

parcela em conforto (MXTD<sub>i</sub>) usado para calcular aquela diferença tendo assim, como ponto de partida, o valor de zero no início do período (valores médios, n=6).

As medições automatizáveis (fluxo de seiva e VDiamT) foram feitas com frequência de 1/60 Hz usando um sistema de aquisição de dados CR3000 com dois multiplexer modelo AM416 (Campbell Scientific, Inc. Logan, Utah, USA).

Foi usada uma câmara de pressão tipo Scholander (resolução de 0,02 MPa), para medir PLWP num número variável de folhas saudáveis (sempre superior a 6 por sub-parcela), de tamanho médio, nas árvores onde foram feitas medições automatizadas.

Para caracterizar o estado hídrico do solo, usou-se a medição de  $\theta_s$  de 20 em 20 cm desde a superfície até 1,30 m, medido com sonda de neutrões modelo 4301 (fabricante Troxler Electronic Laboratories, Inc, Research Triangle Park, NC, USA), em 20 tubos (10 em cada sub-parcela) localizados em diferentes posições relativamente às árvores, segundo linhas paralelas à direção da linha de plantação. Os resultados que se apresentam são a média dos 10 tubos de cada parcela.

### Resultados e Discussão

A fig. 1 apresenta o curso sazonal da precipitação ( $P$ ) e  $ET_o$ , ao longo do ciclo de stress e nos dias imediatamente anteriores. Durante o ciclo em estudo, ocorreu alguma precipitação no dia 238 e sobretudo entre os dias 243 e 247, inclusive (7,9 mm). Nesses dias,  $ET_o$  baixou do seu valor médio, que foi de cerca de 5 mm/dia.

Enquanto o teor em água no solo é relativamente estável na parcela em conforto, com mais humidade nas camadas inferiores (fig. 2 a), na parcela em stress observa-se um decréscimo importante, sobretudo nas camadas mais superficiais (fig. 2 b).

Durante o ciclo de stress, e com a exceção do período em que houve precipitação, observou-se um progressivo decréscimo de TR (fig. 3), na parcela não regada, desde a unidade até cerca de 0,7.

O diâmetro do tronco evoluiu de forma diferente nas duas parcelas (fig. 4) com crescimento apreciável na parcela em conforto e atenuação do crescimento ou mesmo perda de diâmetro, na parcela submetida a stress hídrico. O valor de  $D_{MXTD}/MXTD_i$ , normalizado de forma a partir do zero, de natureza cumulativa, atingiu mais de 0,5 (fig. 5 a). Enquanto isso, decresceu o valor do potencial de base até cerca de -1,4 MPa na parcela não regada, mantendo-se sempre acima de -0,5 MPa na parcela bem regada (fig. 5 b), de forma consistente com a evolução do teor em água no solo. Verificamos que o potencial de base, como habitualmente, é um bom indicador das condições gerais na zona radicular.

As duas variáveis automatizadas são relacionadas com o potencial de base: na fig. 6 a, observamos uma excelente relação entre o indicador  $D_{MXTD}/MXTD_i$ , normalizado e o valor de PLWP. Já a relação entre o valor de TR e o de PLWP, embora quase linear apresenta maior dispersão (fig. 6 b). Para um valor de potencial de base de -0,6 MPa, observámos uma pequena redução na transpiração ( $TR = 0,9$ ), enquanto para um potencial de base de -1,5 MPa, a redução já será igual ou superior a 30%, consistente com os resultados apresentados em Silva (2008) para oliveiras no NE de Portugal.

Em nenhum dos casos é aparente um limiar em que se possa identificar uma mudança de comportamento, mas estas relações aparentam ter utilidade para estimar

quer as variáveis automatizadas a partir de medições de potencial, quer o oposto, em função do objetivo e das ferramentas disponíveis. Optamos por não indicar as equações correspondentes nesta fase do nosso trabalho, uma vez que deve ser afinado e completado com as correções que se impõem, ao valor de TR.

Por último, relacionaram-se as duas variáveis automatizadas (fig. 7), com medições em todos os dias (mais pontos que na fig. 6). Verificamos alguma dispersão correspondente aos dias assinalados acima (fig. 1 e 3) como sendo do período com precipitação, e que parece afetar sobretudo os valores de TR (fig. 3). Porém, à exceção desse período, observamos uma boa relação entre estas variáveis. Estes são resultados preliminares uma vez que o trabalho de recolha e tratamento de dados está em curso (2012).

### Conclusões

Os resultados obtidos para os indicadores selecionados apresentaram consistência entre si, com boas relações, não tendo porém sido detestado qualquer limiar para a rega, já que a progressão é semelhante em todos os indicadores. Os resultados levam a admitir que, após análise posterior para verificar a repetibilidade das relações encontradas, se poderão usar estas equações para obter um destes indicadores a partir de outro mais acessível.

Não fosse o facto de a adequação como indicador de stress das diversas variáveis baseada na VDiamT não só variar muito de espécie para espécie, como a definição de um valor limiar para a rega ser difícil de definir e estas medições apresentariam grande vantagem, relativamente aos métodos de medição do fluxo de seiva, pela relativa maior facilidade de instalação, utilização e tratamento de dados.

### Agradecimentos

O projecto WUSSIAAME - *Uso da água, estratégias de sobrevivência hídrica e impacto de agroquímicos nos recursos hídricos em ecossistemas agrícolas mediterrânicos* (PTDC/AAC-AMB/100635/2008) e, numa pequena parte, o projecto TELERIEG - *Uso da teledetección para a recomendación e seguimiento de las practicas de riego en el espacio SUDOE* (SOE1/P2/E082) co-financiaram as experiências. Um dos investigadores (NC) é bolseiro de doutoramento (SFRH/BD/ 66967/2009) da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal). Agradecemos a participação na recolha de dados de potencial foliar, parâmetros do coberto e teor de água no solo, aos licenciados e mestres Soroor Amindezfouli, Sónia Lourenço, José Miguel Gama, Ondina Miguel e Sónia Surgy, bem como colaboradores pontuais do COTR, nomeadamente Eng.º Luís Miguel Boteta e colegas. Estamos muito gratos à empresa proprietária do Monte do Pardieiro, pelas facilidades concedidas no acesso à sua propriedade e aos funcionários do Monte do Pardieiro (na pessoa do Sr Pereira, responsável pela exploração agrícola), pelo acolhimento e amabilidade constante.

### Referências

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements: FAO Irrig and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.



- Häusler, M., Ferreira, M.I. & Conceição N. 2013. Assessment of Vegetation Parameters in Olive Trees in the Region of Alentejo: a Comparison of Direct and Indirect Methods. *Acta Hort* (submetido).
- FAO/UNESCO. 2006. World reference base for soil resources.
- Fernandez, J.E., Torres-Ruiz J.M., Diaz-Espejo, A., Montero, A., Álvarez, R., Jiménez, M.D., Cuerva, J. & Cuevas, M.V. 2011 Use of maximum trunk diameter measurements to detect water stress in mature 'Arbequina' olive trees under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 98: 1813-1821.
- Ferreira, M.I., Valancogne, C., Michaelsen, J., Pacheco, C.A., Ameglio, T., Daudet, F.-A. 1997. Evapotranspiration, water stress indicators and soil water balance in a *Prunus persica* orchard, in central Portugal. *Acta Hort.* 449(2):379-384.
- Ferreira, M.I., Paço, T.A., Silvestre, J. 2004. Combining techniques to study evapotranspiration in woody crops: application to small areas – two case studies. *Acta Hort.* 664:225-232.
- Ferreira, M.I., Paço, T.A., Silvestre, J. & Silva, R.M. 2008. Evapotranspiration estimates and water stress indicators for irrigation scheduling in woody plants. p. 129-170. In: ML Sorensen (ed.), *Agricultural Water Management Research Trends*. Nova Science Publishers, Inc., New York.
- [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=6658](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=6658)
- Ferreira, M.I., Silvestre, J., Conceição, N. & Malheiro, C. 2012. Crop and stress coefficients in rainfed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. *Irrigation Science*, SI 30:433-447.
- Granier, A. 1987. Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Ann Sci For*, 44:1-44.
- Silva, A.F. 2008. Necessidades hídricas e resposta da oliveira (*Olea europea* L.) ao deficit hídrico na região da Terra Quente. Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, Vila Real. 227 p.
- Silva, R.P. 2009. Desenvolvimento de um sistema inteligente de determinação de necessidades hídricas para culturas lenhosas anisotrópicas. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa, 250 p.

Quadro 1 – Parâmetros físicos de caracterização do olival de regadio, em 2010 (Häusler et al. 2012).

---

Altura acima do solo (m)	3,2±0,2
Perímetro médio do tronco (cm)	32,0±4,2
Área da projecção vertical (m <sup>2</sup> )	5,7± 1,0
Área foliar no final do período vegetativo (m <sup>2</sup> )	32,8± 7,4
Índice de área foliar (em relação à área total)	1,01± 0,24
Índice de área foliar (em relação à área projectada)	5,88±1,49

---

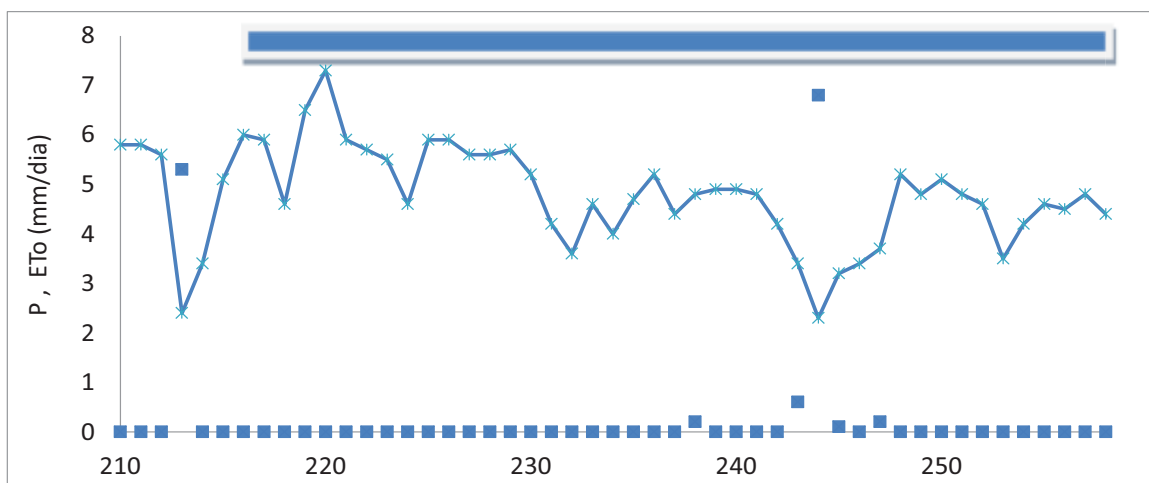


Figura 1 – Precipitação (quadrados) e ETo (linha) antes e durante um ciclo de stress (dias do ano 215 a 258, isto é, 3 de agosto a 15 de setembro).

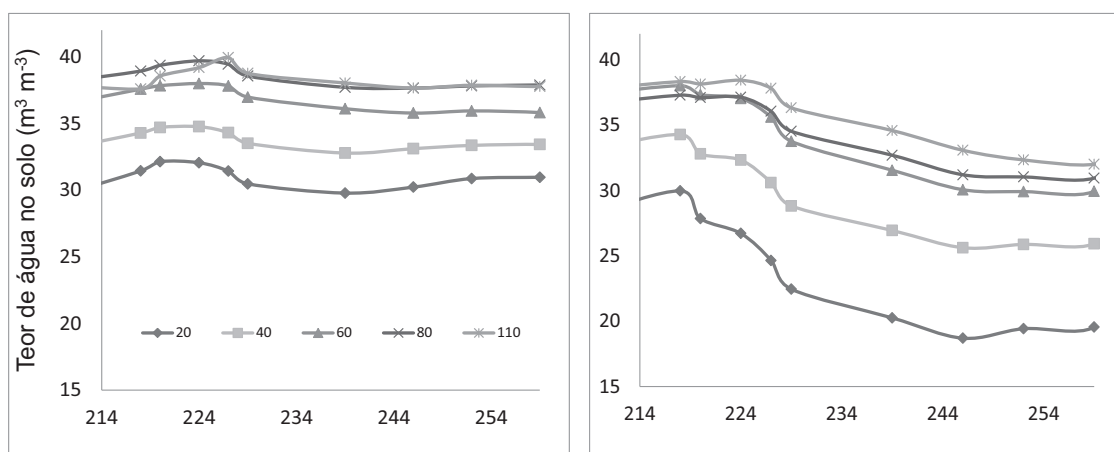


Figura 2 – Evolução do teor de água em 5 camadas do solo, nas parcelas em conforto (a) e em stress (b), durante o período sem rega nesta parcela (dias do ano 215 a 258).

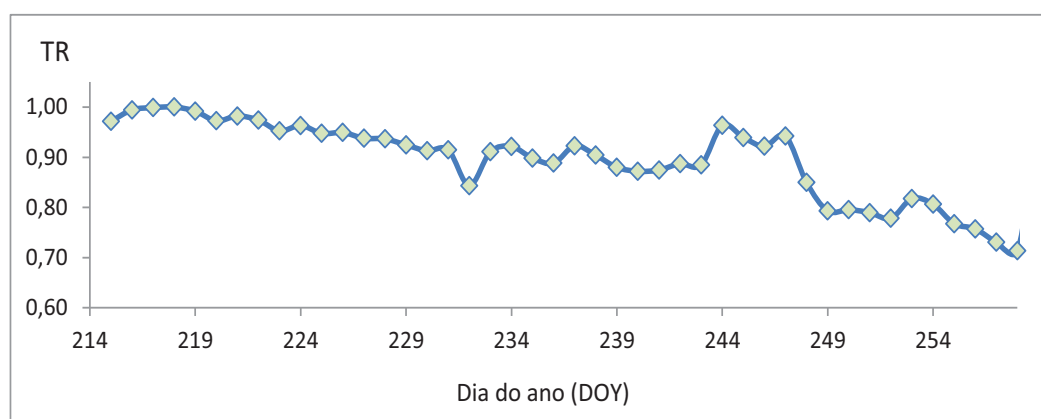


Figura 3 – Evolução de TR na parcela em stress hídrico, durante o período sem rega nesta parcela (dias do ano 215 a 258), relativamente à parcela em conforto hídrico.

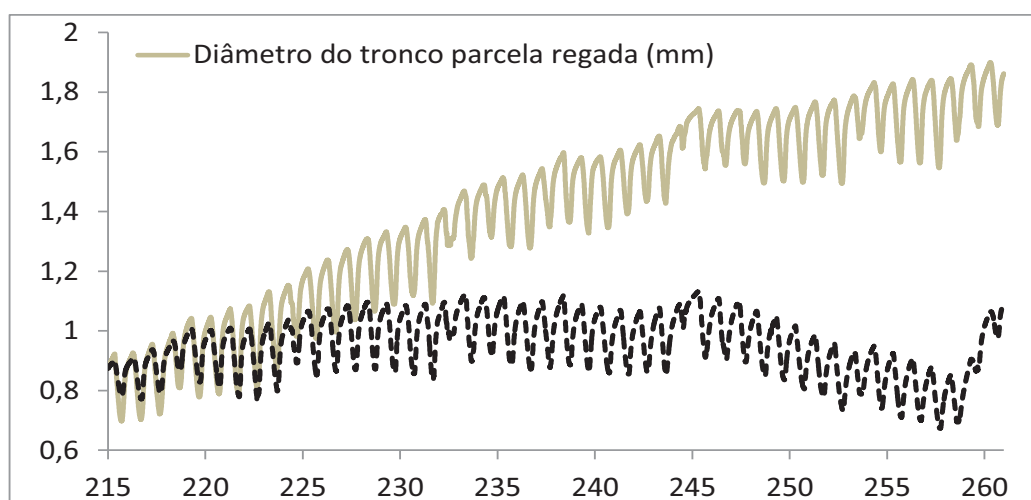


Figura 4 – Evolução do diâmetro do tronco nas parcelas em conforto hídrico (i) e em stress hídrico (s), durante um período sem rega nesta parcela (dias do ano 215 a 258).

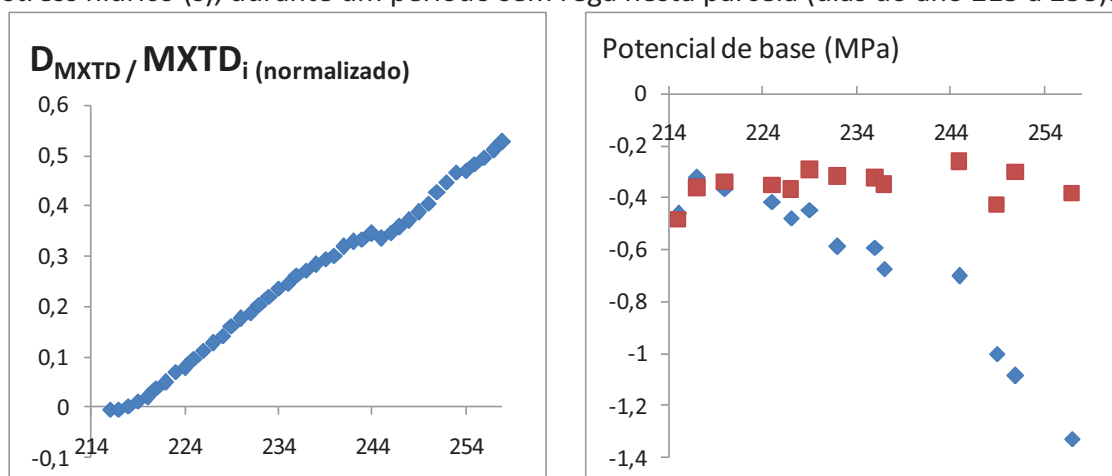


Figura 5 – Indicadores de stress hídrico durante o ciclo de stress:  $D_{MXTD}/MXTD_i$  (a), potencial de base (PLWP) nas parcelas regada (quadrados) e em stress (losangos) (b).

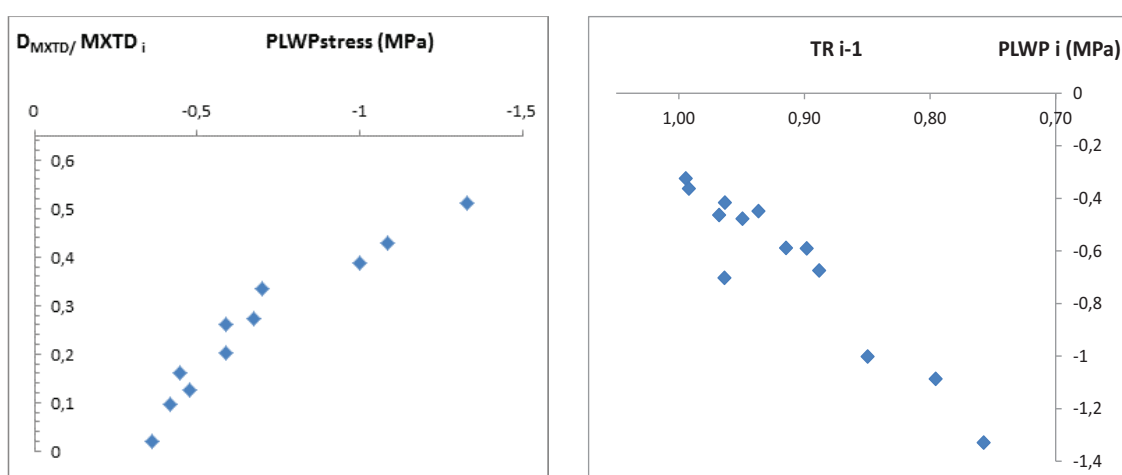


Figura 6 – Relação entre o potencial de base e  $D_{MXTD}/MXTD_i$ , normalizado (a) e entre TR e o potencial de base do dia seguinte (b).



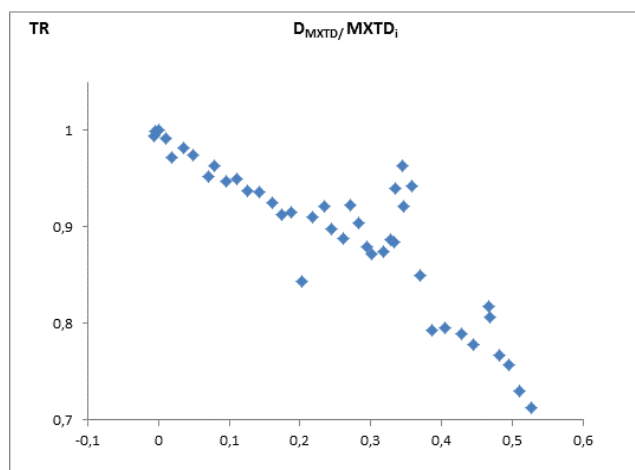


Figura 7 – Relação entre  $D_{MXTD}/MXTD_i$ , normalizado e TR na parcela em stress hídrico.

